低锌水平秸秆饲粮中添加植酸酶对 5~16 周龄五龙鹅生长性能、胫骨发育及抗氧化能力的影响

葛文华　柯昌娇　郑惠文　王宝维*　张名爱　岳　斌　张洋洋　任　民

（青岛农业大学优质水禽研究所，国家水禽产业技术体系营养与饲料功能研究室，青岛 266109)

摘　要：本试验旨在研究低锌水平秸秆饲粮中添加植酸酶对 5～16 周龄五龙鹅生长性能、胫骨发育及抗氧化能力的影响。选用 5 周龄五龙鹅 360 只，随机分为 6 组，每组 6 个重复，每个重复 10 只（公母各占 1/2）。Ⅰ组为对照组，饲喂基础饲粮（添加 75 mg/kg 硫酸锌，未添加植酸酶）；Ⅱ~Ⅵ组在基础饲粮的中分别添加 0、15、30、45、60 mg/kg 硫酸锌，且均添加 1 200 U/kg 植酸酶。试验期 12 周。结果表明：1)Ⅳ、Ⅴ组的体重和平均日增重均极显著高于Ⅰ、Ⅱ组（$P<0.01$），Ⅳ组的平均日采食量显著或极显著高于Ⅰ、Ⅱ组（$P<0.05$ 或 $P<0.01$），Ⅳ、Ⅴ组的料重比显著或极显著低于Ⅰ、Ⅱ组（$P<0.05$ 或 $P<0.01$）。由曲线回归方程得出，饲粮中硫酸锌的添加水平为 60.50 mg/kg 时平均日增重最大；饲粮中硫酸锌的添加水平为 43.44 mg/kg 时料重比最低。2)Ⅲ~Ⅵ组的屠宰率显著或极显著高于Ⅰ、Ⅱ组（$P<0.05$ 或 $P<0.01$），Ⅱ组的半净膛率显著低于其他组（$P<0.05$）。3）Ⅳ~Ⅵ组的骨密度（BMD）显著或极显著高于Ⅱ组（$P<0.05$ 或 $P<0.01$），Ⅳ~Ⅵ组的骨中钙、磷含量显著或极显著高于Ⅰ、Ⅱ组（$P<0.05$ 或 $P<0.01$）。4)Ⅳ~Ⅵ组血清和肝脏总抗氧化能力（T-AOC）显著或极显著高于Ⅱ组（$P<0.05$ 或 $P<0.01$），饲粮中硫酸锌的添加水平为 45 mg/kg 时，血清和肝脏的总抗氧化能力最高。由此可见，低锌水平秸秆饲粮中添加植酸酶提高了 5~16 周龄鹅的生长性能，促进了胫骨发育，增强了机体抗氧化能力。粮中添加植酸酶能够通过提高锌的生物学效价，降低饲粮中硫酸锌的添加水平。建议在饲粮中添加 1 200 U/kg 植酸酶的条件下，饲粮中硫酸锌的适宜添加水平为 40~60 mg/kg。

关键词：锌；植酸酶；鹅；生长发育；胫骨发育；抗氧化能力

中图分类号：S835　　　　　文献标识码：　　　　　　文章编号：

锌是动物所必需的微量元素，它能促进骨骼发育，提高免疫性能[1]，并参与碱性磷酸酶

收稿日期：2017-01-22
基金项目：国家水禽产业技术体系专项基金(CARS-43-11)；山东省良种工程（12-1-3-17-nsh）
作者简介：葛文华(1961—)，女，山东莱州人，高级工程师人，研究方向为家禽营养与保健。E-mail: wangbw1959@qq.com
*通信作者：王宝维，教授，研究生导师，E-mail: wangbw@qau.edu.cn

等多种酶的合成，与动物机体的抗氧化能力密切相关[2]，且能促进动物的骨骼发育[3]。植酸酶是一类能将植酸和植酸盐中的磷酸基团逐一水解，最终释放出肌醇和无机磷的磷酸单酯酶，它能促进微量元素的生物利用率，且能促进单胃动物的生长性能[4]。因此，研究植酸酶对锌利用率的效果，对科学配制生态饲粮具有重要意义。Brnić 等[8]研究表明，饲粮中添加植酸酶对氧化锌（ZnO）和硫酸锌（$ZnSO_4$）的利用率提高了 80%左右；Revy 等[9]在对猪饲粮添加锌和植酸酶的研究表明，添加植酸酶组锌的生物学效应优于单纯添加锌组；朱连勤等[10]研究了饲粮添加不同水平植酸酶对蛋鸡组织微量元素沉积的影响，发现饲粮添加 400 U/kg 植酸酶能有效提高组织中锌的沉积量。锌是一种受饲粮中植酸含量影响最大的微量元素[5]。有研究证实，锌与植酸在小肠上段能够结合成极难溶解的植酸盐，不能被动物体消化吸收，从而阻碍了锌的生物学效价[6]。玉米秸秆中植酸含量较高，添加植酸酶能降低植酸对锌等微量元素的抑制。根据我国农业部 1224 号公告，硫酸锌在鹅饲粮中的建议添加水平为 60 mg/kg，而陈苗璐等[7]研究表明，鹅达到最佳生长性能的饲粮中适宜锌添加水平为 106.45 mg/kg。因此，本试验通过向低锌水平玉米秸秆饲粮中添加植酸酶，与不添加植酸酶的适宜锌水平组作比较，探究二者对 5~16 周龄五龙鹅生长性能、胫骨发育及机体抗氧化能力的影响，以探索提高饲粮锌生物学效价、减少硫酸锌添加量的方法，确定鹅秸秆饲粮中添加植酸酶和硫酸锌的最优组合。

1　材料与方法

1.1　试验动物与试验设计

选择 5 周龄体况相近的五龙鹅 360 只，随机分为 6 组，每组 6 个重复，每个重复 10 只，公母各占 1/2。I组为对照组，饲喂基础饲粮（添加 75 mg/kg 硫酸锌，未添加植酸酶），II~VI组在基础饲粮的中分别添加 0、15、30、45、60 mg/kg 硫酸锌，且均添加 1 200 U/kg 植酸酶。试验期 12 周。本试验所用硫酸锌购自浙江新维普添加剂有限公司，植酸酶购自江苏远方中汇生物科技有限公司。

1.2　试验饲粮

试验用基础饲粮以玉米、豆粕和玉米秸秆为主要原料，参照 NRC(1994)家禽营养需要量中推荐的鹅饲粮营养水平设计配方。基础饲粮组成及营养水平见表 1。基础饲粮中锌含量采用等离子体发射光谱仪测定。

表 1　基础饲粮组成及营养水平（风干基础）

Table 1　Composition and nutrient levels of the basal diet (air-dry basis)　　%

原料 Ingredients	含量 Content	营养水平 Nutrient levels[2]	含量 Content
玉米 Corn	56.80	代谢能 ME/(MJ/kg)	12.81
大豆粕 Soybean meal	16.00	粗纤维 CF	7.50
菜籽粕 Rapeseed meal	4.00	粗蛋白质 CP	15.82
花生粕 Peanut meal	2.00	赖氨酸 Lys	0.91
干酒糟及其可溶物 DDGS	2.00	蛋氨酸+半胱氨酸 Met+Cys	0.68
玉米秸秆 Corn straw	15.00	钙 Ca	1.08
赖氨酸 Lys	0.30	总磷 TP	0.50
蛋氨酸 Met	0.17	有效磷 AP	0.33
磷酸氢钙 $CaHPO_4$	1.00	食盐 NaCl	0.24
碳酸钙 $CaCO_3$	2.00	锌 Zn/(mg/kg)	24.38
氯化钠 NaCl	0.23		
多维 Multi-vitamins[1]	0.30		
微量元素 Trace elements[1]	0.20		
合计 Total	100.00		

[1] 多维素和微量元素为每千克饲粮提供 The multi-vitamins and trace elements provided the following per kg of the diet：VD_3 200 IU，VA 1 500 mg，VE 12.5mg，VK 31.5 mg，VB_1 2.2 mg，VB_2 5.0 mg，烟酸 nicotinic acid 65 mg，泛酸 pantothenate 15 mg，VB_6 2 mg，生物素 biotin 0.2 mg，叶酸 folic acid 0.5 mg，胆碱 choline 1 000 mg，Fe 85 mg，Mn 80 mg，Cu 20 mg，I 0.42 mg，Se 0.3 mg，Co 2.5 mg.

[2] 粗纤维、锌为实测值，其余营养水平为计算值。CF and Zn were measured values, while the other nutrient levels were calculated values.

1.3 饲养管理

饲养试验开始前对鹅舍及饲养器具进行彻底冲洗，并采用火碱消毒，然后用福尔马林和高锰酸钾熏蒸，密闭门窗 24 h。1 周后开始试验。试验采用地面厚垫料饲养，全期自由采食，自由饮水，试验期内定期消毒和更换垫料，严格控制温湿度和光照，定期注射疫苗。

1.4 测定指标及方法

1.4.1 生长性能

5 周龄末对试验鹅进行空腹称重；16 周龄末以重复为单位对试验鹅分别进行空腹称重，计算 5~16 周龄平均日增重（ADG）；统计每日耗料量，计算平均日采食量（ADFI）和料重比（F/G）[11]，每天记录各组死淘情况，计算死淘率。

1.4.2 屠宰性能

在饲养试验的第 16 周，从每组中分别抽取 12 只体重接近该组平均体重的鹅，每重复 2

只，共 72 只，公母各占 1/2，颈静脉放血致死，用湿法拔毛沥干水分后称重，测定记录屠体重、半净膛重、全净膛重、腹脂重、胸肌重和腿肌重，计算屠体率、半净膛率、全净膛率、腹脂率、胸肌率和腿肌率。

1.4.3　胫骨发育测定

在第 16 周龄末屠宰后，取鹅右侧胫骨，采用数字闪烁式锥形扫描骨密度仪（osteocoer 3）测定骨密度（BMD）；胫骨强度的测定采用 WD-1 型电子万能试验机。骨矿含量（BMC）测定方法是：胫骨 105 ℃烘干后称重，再依据 GB/T 6438-92 采用原子分光光度仪和钼黄比色法分别测定胫骨中灰分含量及钙（Ca）、磷（P）的含量。血清碱性磷酸酶（AKP）活性由相应试剂盒测得，试剂盒购自南京建成生物工程研究所。

1.4.3　抗氧化指标

第 16 周龄进行屠宰时，采集并制备鹅的血清和肝脏样品，测定抗氧化指标。总抗氧化能力（T-AOC）采用比色法测定，谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)活性采用比色法测定，铜锌超氧化物歧化酶（Cu-Zn SOD）活性采用黄嘌呤氧化酶法测定，丙二醛（MDA）含量采用硫代巴比妥酸反应（TBA）法测定，上述指标均用试剂盒测定，试剂盒均购自南京建成生物工程研究所。

1.5　统计分析

采用 SPSS 19.0 软件中单因素方差分析(one-way ANOVA)中的 LSD 法进行多重比较。试验数据以“平均值±标准差”表示。$P<0.05$ 和 $P<0.01$ 分别为差异显著和极显著水平。

2　结果与分析

2.1 低锌水平秸秆饲粮添加植酸酶对鹅生长性能的影响

由表 2 可以看出，Ⅳ、Ⅴ组的体重和平均日增重均极显著高于Ⅰ、Ⅱ组（$P<0.01$），Ⅳ组的平均日采食量显著或极显著高于Ⅰ、Ⅱ组（$P<0.05$ 或 $P<0.01$），Ⅳ、Ⅴ组的料重比显著或极显著低于Ⅰ、Ⅱ组（$P<0.05$ 或 $P<0.01$），各组死淘率差异不显著（$P>0.05$）。

试验还发现，饲粮添加植酸酶条件下平均日增重和料重比与锌水平有相关性。对饲粮添加植酸酶的Ⅱ～Ⅴ组的平均日增重和料重比分别与饲粮中锌添加水平(X)进行二次曲线拟合，建立回归方程如下：

Y（料重比）$=1.857-0.003X+(3.453\text{E-}5)X^2$ ($R^2=0.840$，$P_Q=0.000$)；

Y（平均日增重）$=-0.001X^2+0.121X+40.874$ ($R^2=0.796$，$P_Q=0.000$)。

由上述曲线回归方程得出，饲粮中硫酸锌的添加水平为 60.50 mg/kg 时平均日增重最大，

饲粮中硫酸锌的添加水平为 43.44 mg/kg 时料重比最低。

表 2　低锌水平秸秆饲粮添加植酸酶对鹅生长性能的影响

Table 2　Effects of straw fodder with low zinc levels and adding phytase on growth performance of geese

组别 Groups	体重 BW/kg	平均日增重 ADG/g	平均日采食量 ADFI/g	料重比 F/G	死淘率 Mortality rate/%
I	$3.89±0.14^{a}$	$28.67±1.95^{a}$	$221.22±0.70^{ab}$	$7.74±0.32^{d}$	0.02
II	$3.85±0.23^{a}$	$29.20±0.45^{a}$	$219.69±0.39^{a}$	$7.52±0.08^{cd}$	0.03
III	$4.04±0.32^{c}$	$32.29±1.70^{bc}$	$221.90±0.49^{bc}$	$6.88±0.21^{ab}$	0.03
IV	$4.13±0.23^{d}$	$33.70±1.25^{c}$	$222.59±0.50^{c}$	$6.61±0.13^{a}$	0.01
V	$3.97±0.23^{b}$	$33.02±1.00^{c}$	$220.77±0.75^{ab}$	$6.69±0.09^{ab}$	0.02
VI	$3.91±0.17^{ab}$	$30.66±0.09^{ab}$	$220.06±0.41^{a}$	$7.18±0.26^{bc}$	0.01
P 值 *P*-value	0.016	0.001	0.025	0.003	

同列数据肩标相同小写字母或无字母表示差异不显著($P>0.05$)，相邻小写字母表示差异显著($P<0.05$)，相间小写字母表示差异极显著($P<0.01$)。下表同。

In the same column, values with the same small or no letter superscripts mean no significant difference ($P>0.05$), while with adjacent small letter superscripts mean significant difference ($P<0.05$), and with alternate small letter superscripts mean significant difference ($P<0.01$). The same as below.

2.2　低锌水平秸秆饲粮添加植酸酶对鹅屠宰性能的影响

由表 3 可以看出，Ⅲ~Ⅵ组的屠宰率显著或极显著高于Ⅰ、Ⅱ组（$P<0.05$ 或 $P<0.01$），Ⅳ组屠宰率最高；Ⅱ组的半净膛率显著低于其他各组（$P<0.05$）。各组间全净膛、胸肌率、腿肌率和腹脂率均差异不显著（$P>0.05$），但Ⅱ组全净膛、胸肌率、腿肌率均低于其他各组，这与缺锌有着直接关系。

表 3　低锌水平秸秆饲粮添加植酸酶对鹅屠宰性能的影响

Table 3　Effects of straw fodder with low zinc levels and adding phytase on slaughter performance of geese　%

组别 Groups	屠宰率 Dressed percentage	半净膛率 Percentage of half-eviscerated yield	全净膛率 Percentage of eviscerated yield	胸肌率 Percentage of breast muscle	腿肌率 Percentage of leg muscle	腹脂率 Percentage of abdominal fat
I	$86.20±1.38^{a}$	$80.85±1.17^{b}$	77.70±2.59	10.39±5.29	12.37±2.62	1.15±0.63
II	$85.43±1.36^{a}$	$78.37±0.62^{a}$	76.64±6.11	10.17±1.14	11.40±1.87	1.38±0.82
III	$87.63±1.35^{b}$	$80.34±0.40^{b}$	78.00±5.81	10.39±5.29	12.54±3.21	2.14±1.36

Ⅳ	91.07±0.89[c]	81.58±0.85[b]	78.67±3.12	12.51±6.37	12.96±3.84	1.33±0.91
Ⅴ	89.85±1.26[c]	81.41±1.29[b]	78.45±1.85	11.53±2.15	12.68±4.13	1.83±0.70
Ⅵ	89.68±0.97[bc]	81.42±1.31[b]	77.68±4.83	10.64±3.03	13.21±1.23	0.89±0.42
P 值 *P*-value	0.022	0.036	0.082	0.384	0.390	0.249

2.3　低锌水平秸秆饲粮添加植酸酶对鹅胫骨发育影响

由表 4 可以看出，Ⅳ~Ⅵ组的骨密度显著或极显著高于Ⅱ组（*P*<0.05 或 *P*<0.01）；Ⅳ~Ⅵ组的骨中钙、磷含量显著或极显著高于Ⅰ、Ⅱ组（*P*<0.05 或 *P*<0.01）；Ⅳ~Ⅵ组的血清 AKP 活性和灰分含量显著高于Ⅱ组（*P*<0.05）。

二次曲线拟合结果表明，各组 AKP 活性与饲粮中锌添加水平之间存在二次曲线关系，当饲粮中硫酸锌添加水平为 45.00 mg/kg 时，血清 AKP 活性最高；且血清 AKP 活性与骨密度和骨中钙、磷含量之间也存在显著线性关系。

表 4　低锌水平秸秆饲粮添加植酸酶对鹅胫骨发育的影响

Table 4　Effects of straw fodder with low zinc levels and adding phytase on tibia development of geese

组别 Groups	骨密度 BMD /（g/cm^2）	骨强度 Bone strength /g	碱性磷酸酶活性 AKP activity /(金氏单位/dL)	灰分含量 Ash content/％	钙含量 Ca content/％	磷含量 P content/％
Ⅰ	0.290±0.006[bc]	21.64±0.55[b]	36.1±4.26[ab]	28.92±0.83[b]	28.02±0.39[b]	17.83±0.79[c]
Ⅱ	0.272±0.009[c]	19.98±0.88[c]	29.18±6.31[b]	27.87±0.18[b]	27.24±0.35[b]	16.70±1.61[c]
Ⅲ	0.306±0.008[ab]	22.25±0.85[ab]	43.83±8.85[a]	29.48±0.78[ab]	28.27±0.27[ab]	18.68±1.67[bc]
Ⅳ	0.308±0.010[ab]	22.53±0.60[ab]	47.17±7.20[a]	30.89±1.76[a]	28.50±0.81[a]	19.47±0.96[ab]
Ⅴ	0.311±0.018[a]	23.13±0.85[a]	46.06±8.12[a]	31.37±1.39[a]	28.90±0.37[a]	20.32±0.49[a]
Ⅵ	0.313±0.017[a]	22.61±1.07[a]	47.20±4.21[a]	30.92±1.98[a]	29.32±1.15[a]	20.42±0.85[a]
P 值 *P*-value	0.011	0.001	0.006	0.042	0.027	0.011

2.4 低锌水平秸秆饲粮添加植酸酶对鹅血清和肝脏抗氧化能力的影响

由表 5 可以看出，血清中，Ⅳ~Ⅴ组的 T-AOC 显著或极显著高于Ⅱ组（*P*<0.05 或 *P*<0.01），

与Ⅰ组差异不显著（P>0.05）；Ⅳ~Ⅴ组的 Cu-Zn SOD 活性显著或极显著高于Ⅱ组（P<0.05 或 P<0.01）；Ⅲ、Ⅳ组的 MDA 含量显著低于Ⅰ、Ⅱ组（P<0.05），Ⅴ、Ⅵ组的 MDA 含量极显著低于Ⅰ、Ⅱ组（P<0.01）；Ⅳ~Ⅵ组的 GSH-Px 活性极显著高于Ⅰ、Ⅱ组（P<0.01）。

表 5 低锌水平秸秆饲粮添加植酸酶对鹅血清抗氧化能力的影响

Table 5 Effects of straw fodder with low zinc levels and adding phytase on serum antioxidant capacity of geese

组别 Groups	总抗氧化能力 T-AOC	铜锌超氧化物歧化酶 Cu-Zn SOD	丙二醛 MDA	谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-Px
Ⅰ	22.23±2.27[bc]	632.80±62.14[bc]	4.6±0.90[a]	769.63±10.71[c]
Ⅱ	19.73±1.39[c]	582.57±31.04[c]	6.04±0.41[a]	766.41±6.83[c]
Ⅲ	23.34±1.53[bc]	684.43±16.09[c]	4.31±0.33[b]	841.63±15.75[b]
Ⅳ	24.20±0.98[ab]	731.27±35.11[ab]	3.94±0.31[bc]	932.62±18.78[a]
Ⅴ	25.72±1.15[a]	774.73±50.48[a]	3.36±0.40[c]	978.14±11.36[a]
Ⅵ	24.15±2.42[ab]	741.93±39.56[ab]	3.61±0.46[c]	967.93±7.55[a]
P 值 P-value	0.017	0.001	0.007	0.016

由表 6 可以看出，肝脏中，Ⅴ、Ⅵ组的 T-AOC 显著或极显著高于Ⅰ、Ⅱ组（P<0.05 或 P<0.01）；Ⅳ~Ⅵ组的 Cu-Zn SOD、GSH-Px 活性均显著或极显著高于Ⅰ、Ⅱ组（P<0.05 或 P<0.01）；Ⅳ~Ⅵ组的 MDA 含量显著低于Ⅰ组（P<0.05），极显著低于Ⅱ组（P<0.01）。

由表 5 和表 6 可以看出，当饲粮中硫酸锌水平为 45.00 mg/kg 时，血清和肝脏中 T-AOC 最高。这表明低锌水平秸秆饲粮添加植酸酶能够提高鹅血清和肝脏的抗氧化能力。

表 6 低锌水平秸秆饲粮添加植酸酶对鹅肝脏抗氧化能力的影响

Table 6 Effects of straw fodder with low zinc levels and adding phytase on liver antioxidant capacity of geese

组别 Groups	总抗氧化能力 T-AOC	铜锌超氧化物歧化酶 Cun-SOD	丙二醛 MDA	谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-Px
Ⅰ	1.91±0.12[bc]	792.26±31.29[d]	2.92±0.25[b]	2.11±0.06[c]
Ⅱ	1.66±0.04[c]	756.12±18.46[d]	3.61±0.43[a]	2.05±0.04[c]
Ⅲ	2.14±0.19[ab]	878.10±29.26[c]	2.56±0.62[bc]	2.24±0.06[bc]
Ⅳ	2.26±0.32[ab]	909.32±28.42[bc]	2.46±0.63[c]	2.37±0.11[ab]
Ⅴ	2.33±0.23[a]	990.15±28.75[a]	2.06±0.37[c]	2.41±0.10[a]
Ⅵ	2.28±0.24[a]	979.72±26.89[a]	2.14±0.23[c]	2.42±0.12[a]
P 值 P-value	0.014	<0.001	0.012	0.001

3 讨 论

3.1 低锌水平秸秆饲粮添加植酸酶对鹅生长性能的影响

动物的生长性能是映动物生长发育的指标，幼龄动物是生长力最旺盛的时期，其生长性能高低将直接影响育成期生长发育好坏。锌和植酸酶均能对动物的生长性能产生有利的影响。苏丽娜等[12]研究了锌对蛋雏鸭生长性能的影响，发现饲粮锌水平的提高能促进鸭生长性能，并确定鸭适宜硫酸锌的添加量为 51.8 mg/kg；Attia 等[13]研究发现，在雏鸡饲粮中添加 500 U/kg 微生物来源植酸酶极显著提高鸡的采食量和生长性能；Józefiak 等[14]研究了复合糖酶与植酸酶对鸡生长性能的影响，发现加酶组料重比由 1.90 降至 1.84。本试验研究结果表明，饲粮中添加植酸酶的Ⅲ~Ⅶ组料重比低于不添加植酸酶的Ⅰ组，平均日增重高于Ⅰ组；Ⅱ组的生长性能低于其他各组，是由于Ⅱ组饲粮中的锌水平不能满足需要量，鹅群普遍出现缺锌症状。为了探讨饲粮添加植酸酶时硫酸锌的适宜添加水平，对料重比和平均日增重分别进行二次曲线拟合，结果显示，硫酸锌的添加水平应控制在 43.44~60.50 mg/kg 内；经过计算得知，在此范围内，料重比比Ⅰ组降低了 24.8%，平均日增重比Ⅰ组提高了 6.7%，由此证明饲粮添加植酸酶能有效降低硫酸锌的添加水平。

3.2 低锌水平秸秆饲粮添加植酸酶对鹅屠宰性能的影响

屠宰性能主要反映了动物各部位和组织的发育程度，以及胴体的经济效价。多数研究表明，饲粮锌水平对屠宰性能并无显著影响[15]，Tang 等[16]研究表明，杆菌肽锌组北京鸭的生长性能和屠宰性能均显著高于β-葡聚糖组和对照组。植酸酶也能改善动物机体的屠宰性能。Olukosi 等[17]研究显示，饲粮添加 1 000 U/kg 植酸酶能显著改善肉仔鸡的生长性能和屠宰性能。有关植酸酶对屠宰性能影响的研究很少，徐晓娜等[18]研究表明，16 周龄时，饲粮植酸酶添加水平在 600～1 200 U/kg 时能显著提高试验组肉鹅的屠宰率和半净膛率。本研究结果表明，饲粮中添加植酸酶的Ⅲ~Ⅶ组的屠宰率和半净膛率较Ⅰ、Ⅱ对照组有明显提高，且随着饲粮硫酸锌水平的增加有上升趋势。

3.3 低锌水平秸秆饲粮添加植酸酶对鹅胫骨发育的影响

锌和植酸酶对动物骨骼的发育均有影响，其作用机制主要与影响 AKP 的活性以及影响钙、磷代谢有关。AKP 是一种催化磷酸单酯水解释放无机磷的酶类，是反映骨骼代谢和成骨细胞活动的重要指标，缺锌可引起胃和血液中 AKP 活性降低，导致骨代谢异常，改变骨的钙化作用，使骨骼生长板上的软骨细胞增生，骨密度下降。何霆等[19]研究发现，肉仔鸡血清 AKP 活性随饲粮锌水平的提高而提高，当饲粮锌水平为 70 mg/kg 时达到最高。而植酸酶可使饲粮有效磷水平增加，促进血液和骨骼中的钙、磷代谢，增加骨中钙、磷的沉积，从而促进胫骨的发育。Manobhavan 等[20]研究了高剂量植酸酶对雏鸡骨骼矿物元素含量的影响，

发现饲粮中添加 2 500~5 000 U/kg 植酸酶能显著增加骨骼中钙、磷等矿物元素的含量；雷乔波等[21]研究表明，饲粮中添加 300 U/kg 植酸酶能显著提高胫骨灰分和灰分中磷的含量。本研究表明，饲粮中添加植酸酶的Ⅲ~Ⅵ组的血清 AKP 活性比Ⅰ组显著增加，且与硫酸锌水平之间存在二次曲线关系，对其进行拟合分析后得知，当硫酸锌添加水平为 45.00 mg/kg 时血清 AKP 活性最高，且血清 AKP 活性与骨密度和骨钙、磷含量之间存在显著线性关系；另外，添加植酸酶后，Ⅳ~Ⅵ组的骨磷含量显著高于Ⅰ、Ⅱ组。这表明饲粮中添加植酸酶后能提高锌对胫骨发育的生物学效价，有效降低饲粮中锌的添加水平。

3.4　低锌水平秸秆饲粮添加植酸酶对鹅抗氧化能力的影响

动物机体的抗氧化能力决定了动物机体防御体系的强弱。T-AOC 是体内酶促抗氧化体系的重要组成部分，能清除机体不断产生的氧自由基；GSH-Px 是机体内广泛存在的一种重要的含锌酶，它主要参与还原型谷胱甘肽对过氧化氢（H_2O_2）的还原反应，能够防止脂质过氧化，提高机体的抗氧化能力；Cu-Zn SOD 是一种锌依赖酶，主要功能是使超氧自由基发生歧化反应，消除其毒性，防止机体过氧化；MDA 含量是间接反映生物体内氧自由基的代谢状况以及脂质过氧化程度的指标。王宝维等[22]研究表明，增加饲粮锌水平能显著增加血清和肝脏 T-AOC 及 GSH-Px、Cu-Zn SOD 活性，显著降低 MDA 含量；钟映梅等[23]研究表明，提高饲粮锌水平能降低鹅血清和肝脏的 MDA 含量；Tang 等[24]研究了补锌对胰腺炎大鼠的抗氧化调节，发现补锌组的 SOD 和 GSH-Px 活性显著提高。Liu 等[25]研究证明，植酸酶能提高血清 T-AOC 和 SOD 活性 9%~16%；Gowanlock 等[26]在仔猪饲粮中添加植酸酶，研究发现，锌与植酸酶协同能够提高肝脏 Cu-Zn SOD 活性。本发现表明，缺锌的Ⅱ组血清和肝脏抗氧化指标均低于其他各组；添加植酸酶后，Ⅳ~Ⅵ组的血清和肝脏的 T-AOC 和 GSH-Px 活性比Ⅰ组均升高；血清的 MDA 含量差异不大，Ⅳ~Ⅵ组肝脏的 MDA 含量比Ⅰ组极显著降低，表明添加植酸酶提高了锌促进机体抗氧化力的生物学效应，二者协同能有效降低饲粮中硫酸锌的添加水平，但缺锌状态会严重降低机体抗氧化能力。经过对血清和肝脏 T-AOC 的分析结果表明，饲粮中硫酸锌添加水平为 45 mg/kg 时鹅机体的抗氧化效应最佳。

4　结　论

①低锌水平秸秆饲粮中添加植酸酶能够提高鹅的生长性能，促进鹅的胫骨发育，提高鹅血清和肝脏抗氧化能力。

②低锌水平秸秆饲粮中添加植酸酶能够提高锌的生物学功能，降低饲粮中硫酸锌的添加水平，建议在饲粮中添加1 200 U/kg植酸酶的条件下，5~16周龄鹅饲粮中硫酸锌的适宜添加水平为40~60 mg/kg。

参考文献：

[1] 王完元,郝二英,张楠楠,等.微量元素在家禽生产中的应用研究[J].饲料广角,2014,19:93–112.

[2] 虞泽鹏,乐国伟,施用晖,等.不同锌源对断奶小鼠生长及机体抗氧化能力的影响[J].畜牧与兽医,2005,37(4):1–3.

[3] CHA M C,ROJHANI A.Zinc deficiency inhibits the direct growth effect of growth hormone on the tibia of hypophysectomized rats[J].Biological Trace Element Research,1997,59(1):99–111.

[4] SEBASTIAN S,TOUCHBURN S P,CHAVEZ E R,et al.Efficacy of supplemental microbial phytase at different dietary calcium levels on growth performance and mineral utilization of broiler chickens[J].Poultry Science,1996,75(12):1516–1523.

[5] VEUM T L,BOLLINGER D W,BUFF C E,et al.A genetically engineered *Escherichia coli* phytase improves nutrient utilization,growth performance,and bone strength of young swine fed diets deficient in available phosphorus[J].Journal of Animal Science,2006,84(5):1147–1158.

[6] HARMS R H,WALDROUP P W,SHIRLEY R L,et al.The availability of Phytic acid Phosphorus for chick[J].Poultry Science,1964,41(4):1189–1191.

[7] 陈苗璐,王宝维,张名爱,等.饲粮锌水平对鹅生长性能、血清生化指标及激素含量的影响[J].动物营养学报,2013,25(5):1105–1112.

[8] BRNIĆ M,WEGMÜLLER R,ZEDER C,et al.Influence of phytase,EDTA,and polyphenols on zinc absorption in adults from porridges fortified with zinc sulfate or zinc oxide[J].The Journal of Nutrition,2014,144(9):1467–1473.

[9] REVY P S,JONDREVILLE C,DOURMAD J Y,et al.Effect of zinc supplemented as either an organic or an inorganic source and of microbial phytase on zinc and other minerals utilisation by weanling pigs[J].Animal Feed Science and Technology,2004,116(1/2):93–112.

[10] 朱连勤,咼于明,朱风华,等.日粮中不同植酸酶和植酸磷水平对产蛋鸡脏器组织锌、铜和锰含量的影响[C]//第十一次全国家禽学术讨论会论文集.青岛:中国畜牧兽医学会,2003.

[11] 王璐,易路,王波,等.家禽料重比不同测定方法的比较研究[J].中国家禽,2015,37(17):31–3

4.

[12] 苏丽娜,王安.锌对蛋雏鸭生长性能和血液生化指标的影响[J].中国饲料,2012(12):35–37,42.

[13] ATTIA YA,BOVERA F,ABD EL-HAMID A E,et al.Effect of zinc bacitracin and phytase on growth performance,nutrient digestibility,carcass and meat traits of broilers[J].Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition,2016,100(3):485–491.

[14] JÓZEFIAK D,PTAK A,KACZMAREK S,et al.Multi-carbohydrase and phytase supplementation improves growth performance and liver insulin receptor sensitivity in broiler chickens fed diets containing full-fat rapeseed[J].Poultry Science,2010,89(9):1939–1946.

[15] 高惠林,王前光,田科雄,等.不同锌源及其水平对桃源鸡生产性能及屠宰性能的影响[J].畜牧与兽医,2008,40(7):13–17.

[16]TANG X Y,GAO J S,YUAN F,et al.Effects of sophy β-glucan on growth performance,carcass traits,meat composition,and immunological responses of Peking ducks[J].Poultry Science,2011,90(4):737–745.

[17]OLUKOSI O A,COWIESON A J,ADEOLA O.Energy utilization and growth performance of broilers receiving diets supplemented with enzymes containing carbohydrase or phytase activity individually or in combination[J].British Journal of Nutrition,2008,99(3):682–690.

[18] 徐晓娜,王宝维,葛文华,等.植酸酶对五龙鹅屠宰性能及胫骨指标的影响[J].中国畜牧杂志,2014,50(1):30–34.

[19] 何霆,刘汉林,梁琳,等.肉仔鸡饲粮中锌需要量的研究[J].动物营养学报,1995,7(1):2–9.

[20] MANOBHAVAN M,ELANGOVAN A V,SRIDHAR M,et al.Effect of super dosing of phytase on growth performance,ileal digestibility and bone characteristics in broilers fed corn-soya-based diets[J].Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition,2016,100(1):93–100.

[21] 雷乔波,石凌霄,张克英,等.不同剂型植酸酶对蛋鸡产蛋性能、蛋品质和骨骼质量的影响[J].动物营养学报,2010,22(5):1374–1381.

[22] 王宝维,陈苗璐,王秉翰,等.锌对1~4周龄鹅生长性能、免疫与抗氧化功能及金属硫蛋白-I mRNA表达量的影响[J].动物营养学报,2015,27(4):1076–1085.

[23] 钟映梅,王力强,孙刚,等.锌对鹅铜锌超氧化物歧化酶和丙二醛含量影响变化的研究[J].现代畜牧兽医,2007(3):11–13.

[24] TANG Q Q,SU S Y,FANG M Y.Zinc supplement modulates oxidative stress and antioxidant values in rats with severe acute pancreatitis[J].Biological Trace Element Research,2014,159(1/2/3):320–334.

[25] LIU N,RU Y J,LI F D.Effect of dietary phytate and phytase on metabolic change of blood and intestinal mucosa in chickens[J].Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition,2010,94(3):368–374.

[26] GOWANLOCK D W,MAHAN D C,JOLLIFF J S,et al.Evaluating the influence of National Research Council levels of copper,iron,manganese,and zinc using organic (Bioplex) minerals on resulting tissue mineral concentrations,metallothionein,and liver antioxidant enzymes in grower-finisher swine diets[J].Journal of Animal Science,2015,93(3):1149–1156.

Effects of Straw Fodder with Low Zinc Levels and Adding Phytase on Growth Performance, Tibia Development and Antioxidant Capacity of *Wulong* Geese Aged from 5 to 16 Weeks[i]

GE Wenhua KE Changjiao ZHENG Huiwen WANG Baowei* ZHANG Ming' ai YUE Bin ZHANG Yangyang REN Min

(*Institute of High Quality Waterfowl, Qingdao Agricultural University; Nutrition and Feed Laboratory of China Agriculture Research System Qingdao* 266109*, China)*

Abstract: This experiment was conducted to study the effects of straw fodder with low zinc levels and adding phytase on growth performance, tibia development and antioxidant capacity of *Wulong* geese aged from 5 to 16 weeks. A total of 360 five-week-old *Wulong* geese were selected and randomly divided into 6 groups with 6 replicates in each group and 10 geese in each replicate (half male and half female). Geese in the group Ⅰ (control group) were fed a basal diet (supplemented with 75 mg/kg zinc sulfate, no phytase); the others in the groups Ⅱ to Ⅵ were fed the basal diets supplemented with 0, 5, 30, 45 and 60 mg/kg zinc sulfate, respectively, and all supplemented with 1 200 U/kg phytase. The experiment lasted for 12 weeks. The results showed as follows: 1） the body weight and average dairy gain in groups Ⅳ and Ⅴ were significantly higher than those in groups Ⅰ and Ⅱ (P<0.05), the average daily feed intake in group Ⅳ was significantly higher than that in groups Ⅰ and Ⅱ (P<0.05 or P<0.01), the feed to gain ratio in groups Ⅳ and Ⅴ was significantly lower than that in groups Ⅰ and Ⅱ (P<0.05 or P<0.01). Considered thecurv

e regression equation, when dietary zinc sulfate supplemental level was 60.50 mg/kg, the average dairy gain got the highest; when dietary zinc sulfate supplemental level was 43.44 mg/kg, the feed to gain ratio got the lowest. 2) The dressed percentage in groups Ⅲ to Ⅵ was significantly higher than that in groups Ⅰ and Ⅱ ($P<0.05$ or $P<0.01$), the percentage of half-eviscerated yield in group Ⅱ was significantly lower than that in other groups ($P<0.05$). 3） The bone mineral density (BMD) in groups Ⅳ to Ⅵ was significantly higher than that in group Ⅱ ($P<0.05$ or $P<0.01$), the content of calcium and phosphorus in bone in groups Ⅳ to Ⅵ was significantly higher than that in groups Ⅰ and Ⅱ ($P<0.05$ or $P<0.01$). 4) The total antioxidant power (T-AOC) of serum and liver in groups Ⅳ to Ⅵ was significantly higher than that in group Ⅱ ($P<0.05$ or $P<0.01$). When dietary zinc sulfate supplemental level was 45 mg/kg, the T-AOC of serum and liver got the highest. In conclusion, straw fodder with low zinc levels and adding phytase can improve the growth performance of geese aged from 5 to 16 weeks, promote the tibia development and strengthen the body's antioxidant capacity. Dietary added phytase can decrease zinc sulfate supplemental level through improving the biological titer of zinc. It is suggested that the optimal zinc supplemental level is 40 to 60 mg/kg under the condition of adding 1 200 U/kg phytase in the diet.

Key words: zinc; phytase; geese; growth and development; the tibia development; antioxidant capacity

---

*Corresponding author, professor, E-mail: wangbw@qau.edu.cn （责任编辑　武海龙）